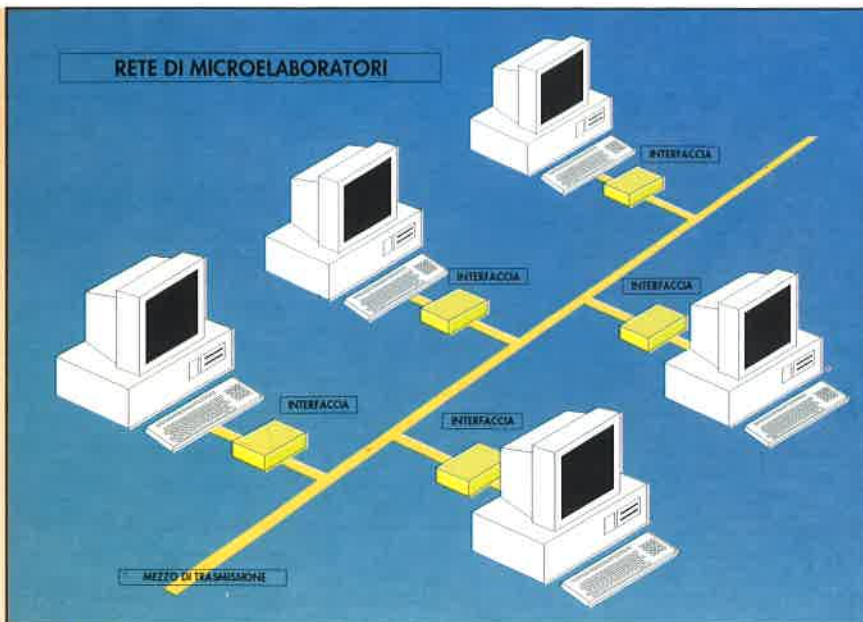
INTRODUZIONE ALLE RETI LOCALI

Una rete locale (LAN) è un sistema di comunicazione che permette il collegamento di un gruppo di dispositivi di elaborazione dati all'interno di un'area geografica delimitata.

I'area geografica che può essere coperta è ridotta. Le distanze raggiungibili si possono stimare comprese tra 0,1 e 10 km, con punte massime di 25 km.
Una rete locale permette la trasmissione e lo scambio dei dati tra sistemi diversi a velocità molto elevate, sino a 100 Mbps. Inoltre, consente di condividere apparecchiature molto costose, quali stampanti laser per alti volumi, che sono dotate di elevata velocità e notevole qualità di stampa. Sono molti i dispositivi che possono essere collegati ad una rete locale, ma tra questi verranno considerati solamente quelli più utilizzati nelle comunicazioni tramite computer:

Una rete locale consente la condivisione e lo scambio di dati a grande velocità tra sistemi diversi

Ogni tipo di rete locale si differenzia dalle altre per il mezzo di trasmissione utilizzato, per la topologia di configurazione e per la tecnica di controllo dell'accesso al mezzo.

- *elaboratori,*
- *terminali,*
- *dispositivi periferici,*
- *sensori (di temperatura, di umidità, di sicurezza),*
- *telefoni,*
- *ricevitori e trasmettitori televisivi,*
- *fax.*

VANTAGGI DELLE RETI LOCALI

- Facilità negli scambi, che possono essere eseguiti sia a livello hardware che a livello software.
- Possibilità di distribuire i compiti ai vari dispositivi che sono collegati alla rete, permettendo di conseguenza uno svolgimento più rapido delle operazioni che evita il sovraccarico di un solo sistema, come accade quando questo è centralizzato.
- Utilizzo di dispositivi semplici.
- Flessibilità nell'ubicazione dei dispositivi.

INCONVENIENTI DELLE RETI LOCALI

La rete consente la distribuzione dei compiti ai diversi dispositivi ad essa collegati

- Non viene garantita la compatibilità tra le applicazioni che si stanno eseguendo sui diversi dispositivi collegati alla rete locale.
- Impossibilità di garantire una certa sicurezza e segretezza dell'informazione che deve essere trasmessa o memorizzata.
- Difficoltà nella standardizzazione del software applicativo.

TECNOLOGIA DELLE RETI LOCALI

I parametri che definiscono qualsiasi rete locale sono:
- il mezzo di trasmissione utilizzato (doppino telefonico, cavo coassiale e fibra ottica);
- la topologia o il sistema con cui vengono collegati tra loro i terminali di una stessa rete, e gli elementi di comunicazione utilizzati. Le topologie più comuni per le reti locali sono *a stella* (star), *ad anello* (ring), oppure *a bus* o *ad albero* (tree). Si può dire che la topologia a bus rappresenta una configurazione particolare della topologia ad albero, nella quale è presente il tronco ma non i rami.
- la tecnica di controllo dell'accesso al mezzo di trasmissione (*MAC*, Medium Access Control), che differisce per ogni topologia. Le opzioni standardizzate sono: *CSMA/CD* (802.3), *Token Passing Bus* (802.4) e *Token Passing Ring* (802.5).

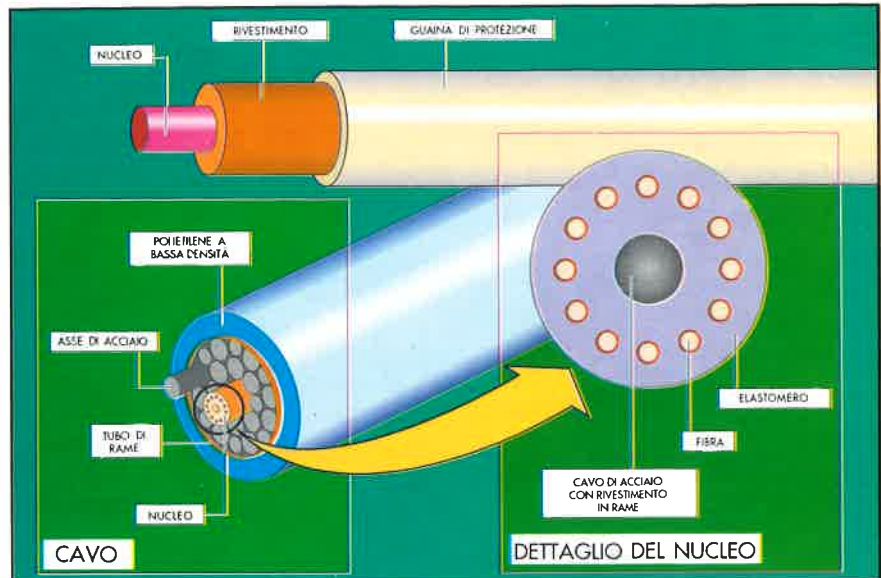
MEZZI DI TRASMISSIONE

Il *mezzo di trasmissione* rappresenta il percorso fisico lungo il quale viene trasmesso e ricevuto il segnale (dati, ecc.).
I mezzi di trasmissione normalmente utilizzati per le reti locali sono: il doppino telefonico, il cavo coassiale e le fibre ottiche.
Questo mezzo è definito tramite alcuni parametri caratteristici, che sono:
- *descrizione fisica:* caratteristiche tecniche (doppino telefonico, cavo coassiale, fibra ottica);

Interfaccia per una rete locale

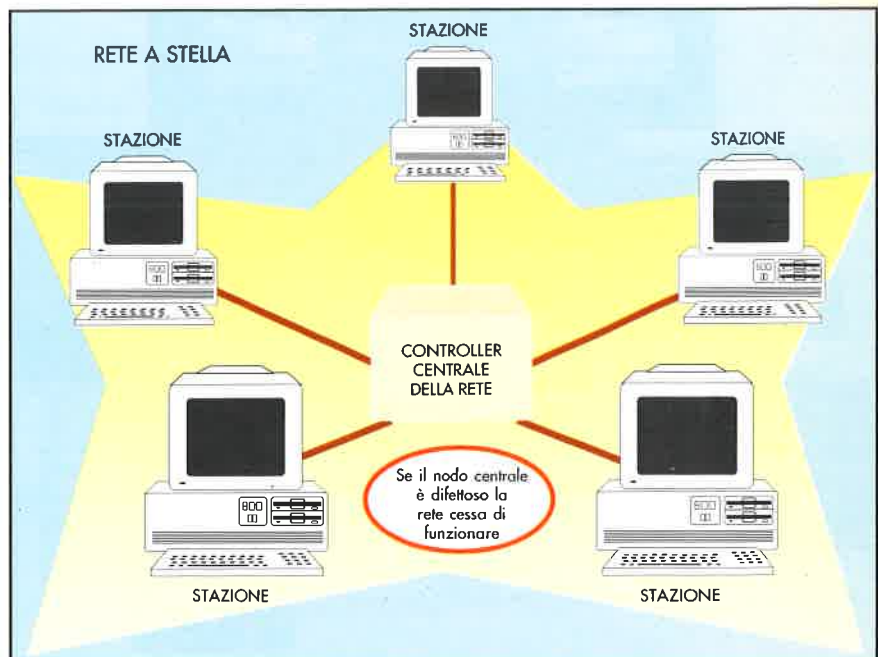
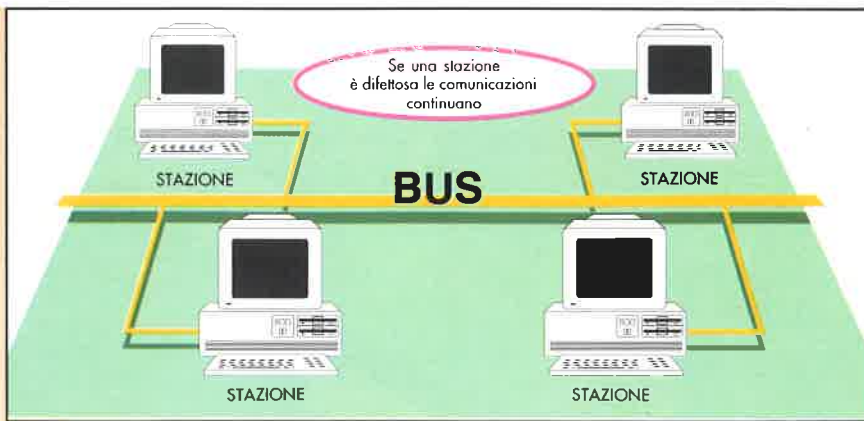
- *caratteristiche di trasmissione:* se si utilizza cavo analogico o digitale, tecnica di modulazione, capacità e banda di frequenza alla quale avviene la trasmissione;
- *collegamento:* punto a punto o multipunto;
- *spazio geografico:* massima distanza tra i punti della rete.

Il doppino telefonico:

- è il mezzo di trasmissione più comune, sia per i dati analogici che per quelli digitali; è il cavo normalmente utilizzato per collegare il telefono di un abbonato alla centrale;
- è composto da due fili in rame trattati con vernici isolanti e intrecciati tra di loro;
- consente la trasmissione di segnali analogici e digitali;
- per la trasmissione di segnali analogici richiede l'installazione di amplificatori posti sulla linea ad una distanza di 5 o 6 km. La larghezza di banda arriva a 268 kHz;
- per la trasmissione dei segnali digitali richiede l'installazione di ripetitori posti sulla linea ad una distanza di 2 o 3 km. La velocità di trasmissione può arrivare a 9.600 bps se si utilizza la modulazione PSK, ma può anche essere molto superiore;
- consente di trasmettere sino a 2 Mbps;
- è sensibile alle interferenze elettromagnetiche;
- può essere utilizzato per connessioni punto a punto e multipunto, anche se il suo impiego principale è nei sistemi punto a punto poiché nei sistemi multipunto supporta meno connessioni rispetto al cavo coassiale;
- permette la connessione punto a punto per trasmettere dati a distanze superiori ai 15 km, ed è normalmente utilizzato per collegamenti all'interno di uno stesso edificio o gruppi di edifici tra loro vicini;
- il suo costo è inferiore a quello del cavo coassiale e delle fibre ottiche: tuttavia, il costo di installazione è pari a quello degli altri mezzi;
- viene utilizzato indifferentemente per le topologie a bus, ad anello e a stella.

La fibra ottica è un mezzo con caratteristiche di trasmissione eccellenti, ma è molto costosa

Il cavo coassiale:

- è il mezzo più utilizzato per le reti locali;
- ne esistono di due tipi: il cavo a 50 Ω, utilizzato in banda base, che supporta segnali digitali trasmessi con una velocità massima di 10 Mbps, e il cavo a 75 Ω, utilizzato in banda larga, che è in grado di trasmettere segnali analogici in FM con velocità sino a 20 Mbps, e segnali digitali ad una velocità massima di 50 Mbps;
- si utilizza per connessioni punto a punto e multipunto;

Nella topologia a stella, se il nodo centrale si blocca la rete cessa di funzionare

La topologia a bus è strutturata in modo che anche quando una stazione è difettosa, le restanti continuano il loro normale funzionamento

in grado di trasmettere un raggio ottico;
- le velocità di trasmissione oscillano attorno ai 100 Mbps;
- permette la connessione punto a punto. Sperimentalmente sono state eseguite anche connessioni multipunto in topologia bus;
- richiede l'installazione di ripetitori in linea, posti ad una distanza di 6/8 km;
- non è sensibile alle interferenze elettriche e al rumore;
- ha un costo elevato
- viene utilizzata per realizzare topologie ad anello.

- richiede una lunghezza della linea limitata a pochi chilometri;
- l'immunità al rumore dipende dall'applicazione;
- i suoi costi sono una via di mezzo tra quelli del doppino e delle fibre ottiche;
- viene utilizzato in topologie a bus e ad anello in banda base. Se la trasmissione avviene in banda larga si utilizzano le topologie a bus e ad albero.

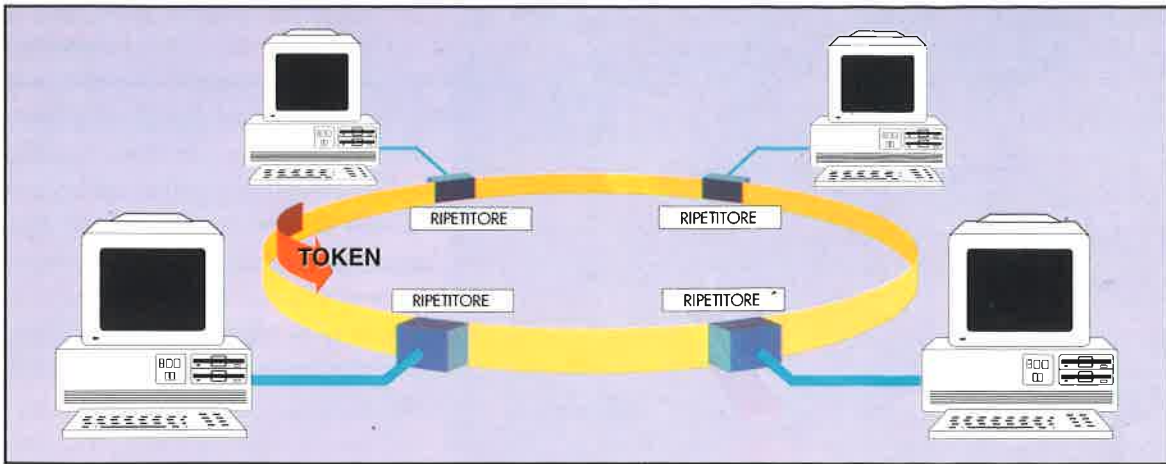
La fibra ottica:
- può essere in vetro oppure in materiale plastico

La topologia ad albero consente il proseguimento delle trasmissioni anche se una stazione è difettosa

TOPOLOGIA A STELLA

Questa topologia prevede che ciascuna stazione sia connessa a un commutatore centrale tramite un collegamento punto a punto. La comunicazione tra due stazioni si ottiene con la commutazione dei circuiti. Se una stazione deve trasmettere dati ad un'altra stazione della rete, deve effettuare una richiesta al commutatore centrale che stabilisce un collegamento dedicato punto a punto tra le due stazioni. Il controllo delle stazioni è centralizzato, e tutte le commutazioni sono gestite dal controller centrale che stabilisce e contemporaneamente mantiene un certo numero di percorsi per i dati; ciò lo rende particolarmente complesso.

TOPOLOGIA AD ANELLO

Nella topologia ad anello la rete locale è formata da un insieme di ripetitori uniti tra di loro per mezzo di connessioni punto a punto su di un cerchio (anello) chiuso. Ciascun ripetitore può supportare due connessioni. Il ripetitore è un dispositivo che riceve dati da una connessione e li trasmette bit per bit ad un'altra connessione senza memorizzare l'informazione in nessun buffer. Le connessioni sono unidirezionali, per cui i dati circolano nell'anello sempre nello stesso senso (il senso di rotazione può essere uguale o opposto a quello delle lancette dell'orologio). Ogni stazione

Nella topologia ad anello sia il token che i dati ruotano in un unico verso

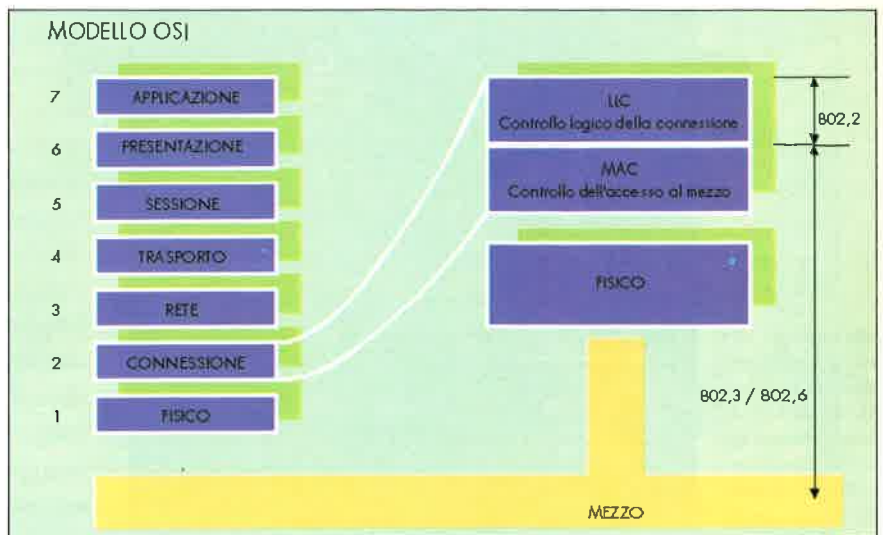
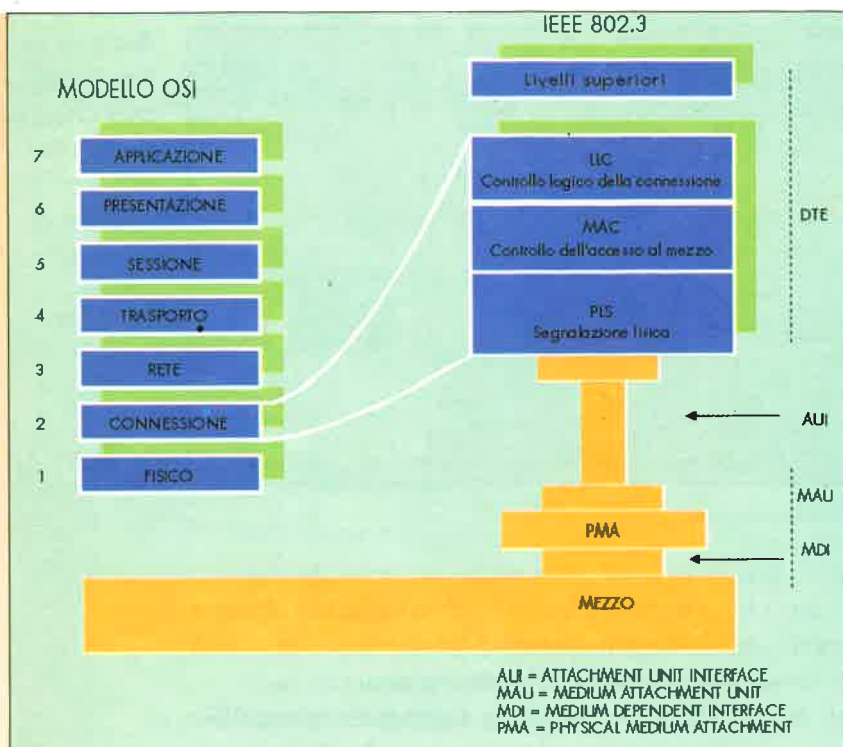
Sia per la topologia a bus che per quella ad albero il mezzo è configurato come multipunto

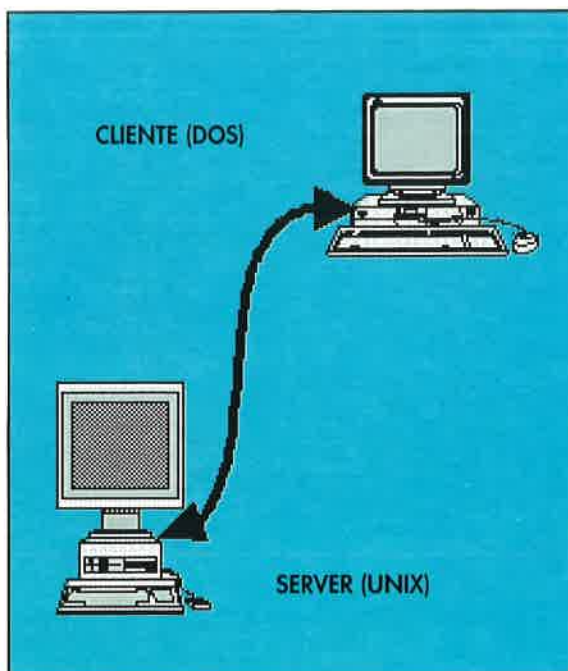
rimane connessa alla rete tramite un ripetitore. La trasmissione dei dati avviene a blocchi, chiamati *trame* o *unità di dati* del protocollo (PDUs). Le trame contengono anche una parte di dati e informazioni di controllo; nell'informazione si trova l'indirizzo della stazione alla quale i dati sono destinati. Se la stazione deve trasmettere una quantità di dati tanto grande da non poter essere contenuta in una sola trama, crea dei blocchi più piccoli e li invia sotto forma di trame. Per poter trasmettere, una stazione deve attendere il suo turno; quando arriva trasmette la trama, che circola nell'anello. Se una stazione identifica nella trama il suo indirizzo la copia in un buffer locale. Tuttavia, la trama prosegue il suo percorso finché non ritorna alla stazione che l'ha inviata; solo in quel momento l'anello viene chiuso. L'anello è condiviso da diverse stazioni, per cui è necessario un controllo che determini in quale momento ogni stazione può inviare la sua informazione. Quasi sempre questo controllo viene realizzato per mezzo di un controllo distribuito. Ogni stazione contiene un accesso logico che controlla la trasmissione e la ricezione.

TECNOLOGIA A BUS E AD ALBERO

In questa topologia la rete di trasmissione è formata semplicemente dal mezzo di trasmissione, poiché non sono previsti commutatori o ripetitori. Le stazioni sono collegate al mezzo di trasmissione tramite un'interfaccia hardware. Se una stazione trasmette un messaggio, questo passa al bus e può essere ricevuto dalle altre stazioni.

La topologia ad albero è una generalizzazione della topologia a bus. Il mezzo di trasmissione è un cavo dotato di ramificazioni nel quale non sono presenti circoli chiusi. Anche in questo caso, se una stazione trasmette una informazione questa si propaga attraverso il mezzo, e i suoi dati possono essere ricevuti dalle altre stazioni che fanno parte della rete. Sia nella topologia a bus che nella topologia ad albero il mezzo è configurato come multipunto. Tutte le stazioni condividono una connessione di trasmissione comune; ciò significa che la trasmissione può essere eseguita da una sola stazione per volta. Anche in questo caso è

Relazione che esiste tra le norme IEEE 802.x per reti locali e il modello OSI

Il doppio meccanismo, dipendenza e indipendenza dal mezzo, consente un uso flessibile dei diversi mezzi di trasmissione

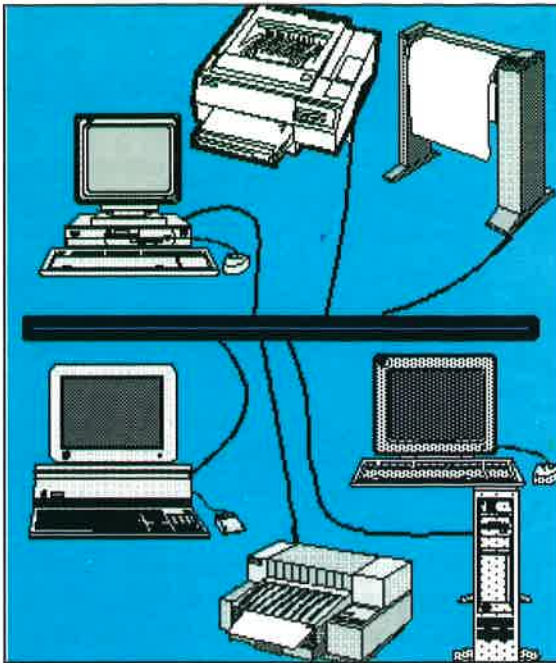
perciò necessario un sistema per il controllo dell'accesso al mezzo di trasmissione *(MAC, Medium Access Control)*, che consenta di stabilire in ciascun istante quale stazione deve trasmettere. Normalmente si utilizza un tipo di protocollo condiviso da tutti i nodi, che corrisponde ad un controllo distribuito, anche se a volte viene impiegato un controllo di tipo centralizzato.

Le applicazioni che girano sotto sistema operativo DOS possono essere messe in comunicazione con applicazioni che girano sotto sistema operativo UNIX.

Una stazione che desidera trasmettere prepara il suo messaggio in trame e le invia: a volte queste trame possono entrare in conflitto con trame generate da altre stazioni. La stazione di arrivo, alla quale sono dirette le trame inviate in precedenza, lascia passare tutte le trame finché non riconosce quella che contiene il suo indirizzo, e in quel caso la copia. Questo processo non prevede nodi intermedi o di commutazione.

Protocollo IEEE 802.3 CSMA/CD

L'architettura dello standard 802.3 è formata da quattro parti:

- *specifiche dei servizi MAC* (Controllo di Accesso al Mezzo) fornite dall'IEEE 802.3 all'*LLC* (*controllo del collegamento logico*) o a livelli di utenza superiori;
- *protocollo MAC* che comprende le quattro regole principali di controllo della tecnica *CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/ Collision Detection*, accesso multiplo per rivelazione di portante con rilevazione di collisione).

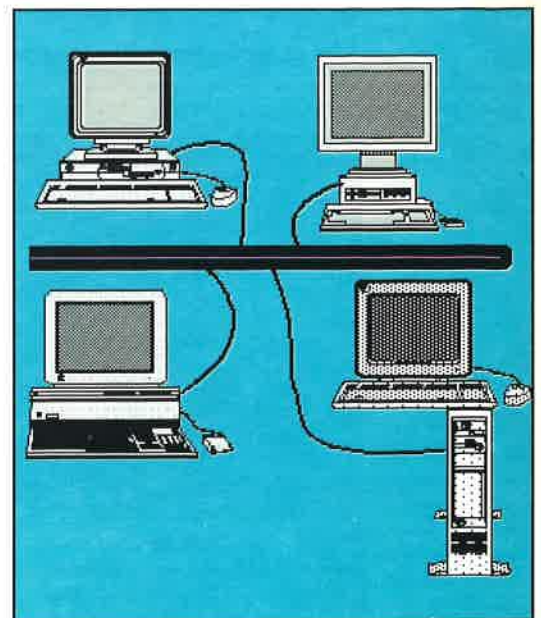
Prima regola - se il mezzo è libero si può eseguire la trasmissione, altrimenti si passa alla seconda regola;
Seconda regola - se il mezzo è occupato, per trasmettere si attende finché questo non si libera;
Terza regola - se viene rilevata una collisione viene inviato un segnale di reset (jam signal);
Quarta regola - dopo che è stato inviato il segnale di reset (jam signal), bisogna attendere per un certo tempo prima di ritrasmettere.
Questo processo prevede un tempo molto importante, lo *slot time* o tempo massimo che deve intercorrere tra l'inizio della trasmissione e il momento in cui viene rilevata una collisione. Rappresenta il tempo massimo che una stazione deve attendere per sapere se si è verificata una collisione. Un altro tempo importante è il tempo di *backoff*, che corrisponde al tempo che deve attendere una stazione prima di ritrasmettere. Questo tempo è variabile, e tanti più tentativi ha fatto una stazione per trasmettere una trama, tanto maggiore sarà il tempo di attesa, in modo da non sovraccaricare ulteriormente la linea. Se il numero

Con una rete locale si ottiene facilmente una condivisione efficiente e flessibile delle risorse

dei tentativi supera il 16, la trasmissione viene abbandonata.
Il formato delle trame è costituito da:
preambolo: indica l'inizio della trama, e serve per sincronizzare i diversi clock. É composto da sette ottetti che hanno il formato (101010...);
SDF: è un delimitatore di inizio della trama, e contiene un ottetto il cui formato è (10101011);
indirizzo di destinazione: può essere composto da 2 o 6 ottetti;
indirizzo di partenza: come il precedente può essere formato da 2 o 6 ottetti, ma sia l'indirizzo di partenza che quello di destinazione devono essere dello stesso numero di ottetti;
indicatore di lunghezza: indica la lunghezza dei dati dell'LLC (controllo del collegamento logico);
dati dell'LLC: sono i dati inviati o ricevuti;
pad (opzionale): è un campo di riempimento. Poiché la dimensione minima della trama che può essere inviata è di 64 ottetti, a volte accade che l'informazione da trasmettere non raggiunga questa dimensione, per cui la si deve "riempire" con questo campo;
FCS (sequenza di verifica della trame): è composta da 4 ottetti;
specifiche fisiche indipendenti del mezzo: definiscono l'interfaccia tra il MAC (Controllo di Accesso al Mezzo) e i livelli fisici. Si possono distinguere il *MAU* (Unità di Accesso al Mezzo), che normalmente è dotato di una sua circuiteria adiacente al mezzo della rete locale, anche se la maggior parte dell'hardware e del software si trova nella stazione stessa, e l'*AUI* (Interfaccia dell'Unità di Accesso) costituita da una interfaccia richiesta dal protocollo per collegare la stazione e il MAU. Inoltre nel protocollo vengono specificati anche il mezzo di trasmissione tra la stazione e il MAU e la tecnica di gestione dei segnali attraverso l'interfaccia;
specifiche fisiche dipendenti del mezzo: definiscono l'interfaccia tra il mezzo della rete locale e i segnali che vengono scambiati per suo tramite.
Le specifiche fisiche dipendenti e indipendenti del mezzo definiscono il livello fisico di connessione, e il protocollo prevede diverse possibilità. I parametri che devono essere indicati per definire queste possibilità sono:
- *velocità di trasmissione* - in Mbps;
- *tipo di mezzo* - se in banda base si imposta BASE, mentre se in banda larga si imposta BROAD;
- *lunghezza massima del segmento* - per 100 in metri. Ad esempio: *10BASE5*

Una stazione che desidera trasmettere trasforma i suoi messaggi in trame e le invia in successione

PROTOCOLLO IEEE 802.4 TOKEN BUS

Questo standard definisce il protocollo di accesso al mezzo Token Bus, utilizzato per la topologia a bus. Si possono distinguere cinque parti:
specifiche dei servizi MAC: fornite dallo standard IEEE 802.4 all'LLC o a livelli di utenza superiori;
protocollo MAC: è la parte più importante dello standard 802.4. Questa specifica contiene la struttura della trama e l'interazione che si verifica tra le entità MAC. Si basa sulla realizzazione di un anello logico in una topologia a bus. Per accede-

La rete locale consente il collegamento di dispositivi diversi di costruttori differenti in modo molto flessibile

Una stazione deve essere in grado di poter uscire dall'anello collegando quella che la precede a quella che la segue

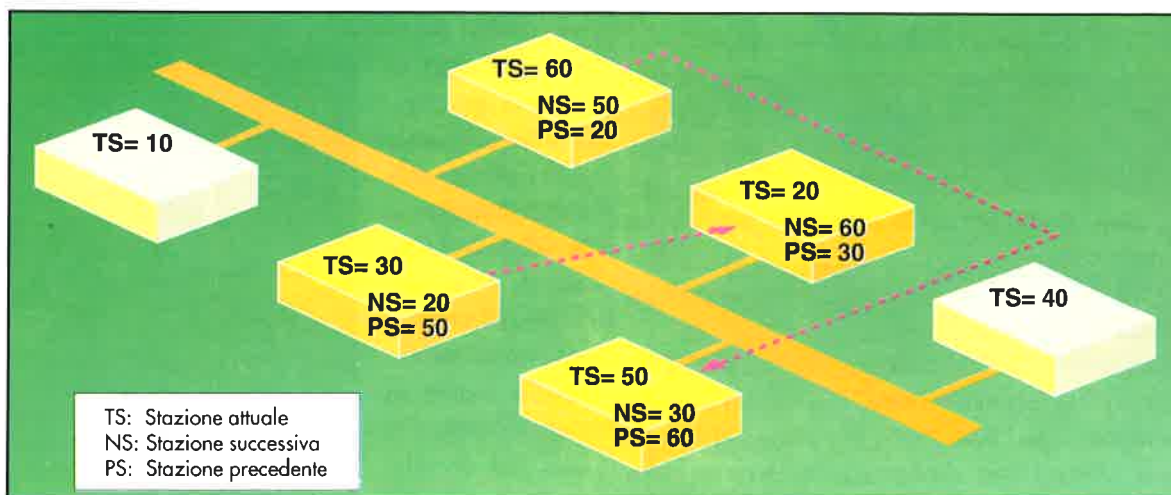
re al mezzo si deve disporre del *token* (testimone: si tratta di una trama speciale). L'anello logico si basa sul principio che ciascuna stazione conosce dal punto di vista logico quale è la stazione che la precede e quella che la segue. La stazione deve abbandonare il controllo del mezzo di trasmissione quando si verifica una delle seguenti condizioni:
- la stazione non ha trame da inviare,
- la stazione ha inviato tutte le trame che doveva trasmettere,
- il tempo a disposizione della stazione per trasmettere è terminato.

Quando si verifica una di queste condizioni la stazione passa il testimone (token) alla stazione logica successiva.

Le stazioni del bus devono compiere una serie di funzioni, quali:
- *inizializzazione dell'anello* (anello logico): quando la rete viene avviata, o dopo che si è verificato un errore, si deve inizializzarla per conoscere l'ordine delle stazioni;
- *aggiunta di un stazione all'anello*: periodicamente si deve dare la possibilità di inserimento alle stazioni che non appartengono alla rete;
- *soppressione di una stazione dell'anello*: una stazione deve essere in grado di uscire dall'anello, collegando la precedente alla seguente;
- *recupero*: si possono verificare degli errori, quali la duplicazione del "token", la perdita del "token", oppure la scelta erronea del turno di trasmissione da parte di qualche stazione;
- *gestione delle priorità*.

Il controllo del numero dei membri di un anello avviene grazie a tre funzioni, che sono:
- la cancellazione di un nodo,
- l'aggiunta di un nodo,
- l'inizializzazione dell'anello.

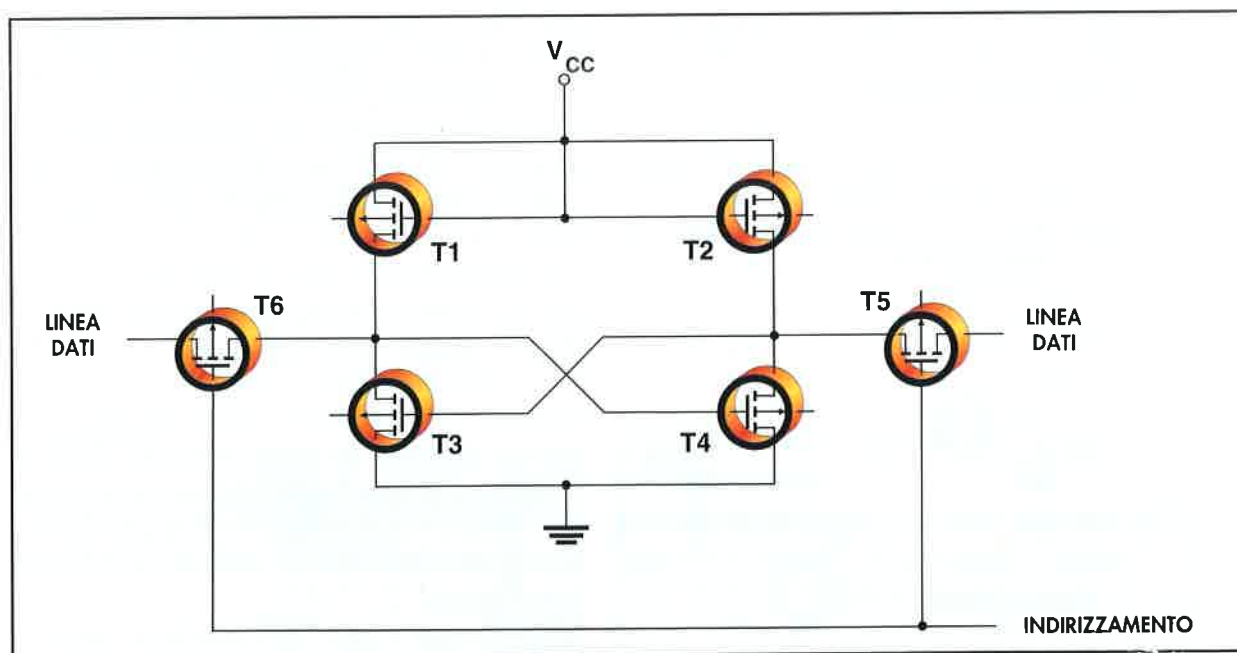
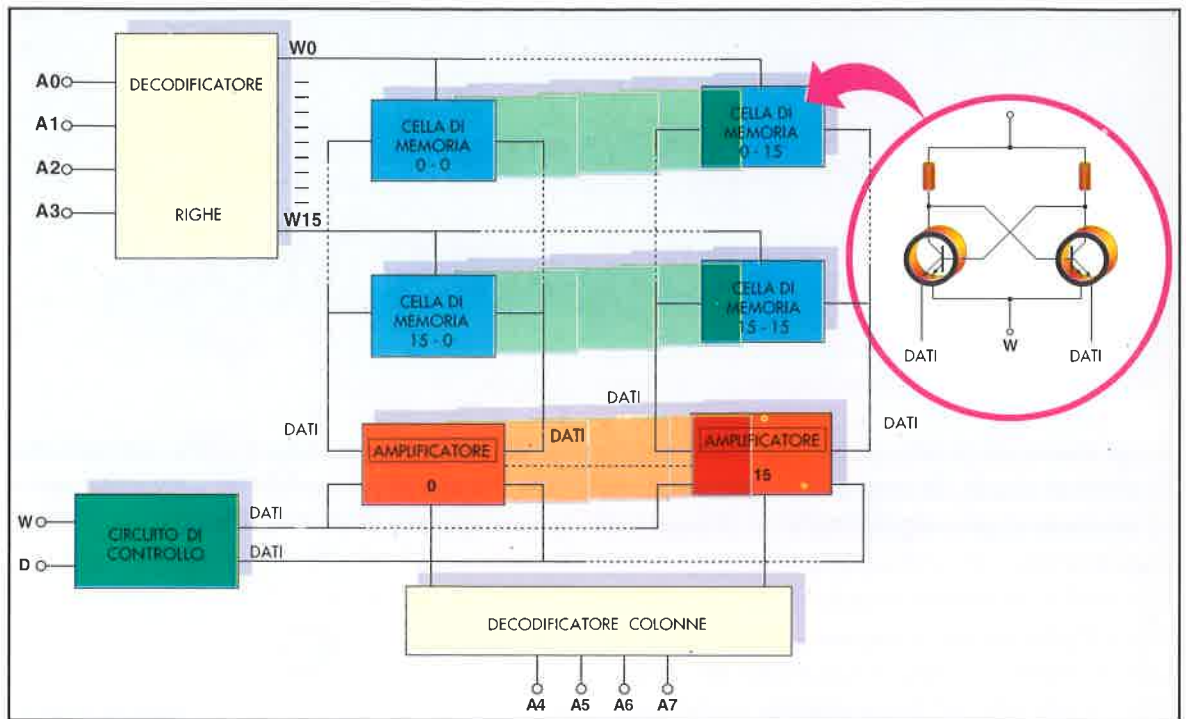
Per poter eseguire queste funzioni si utilizzano alcune trame di controllo, che sono:
- *Claim Token*, utilizzata per creare un nuovo token se è stato perso il precedente;
- *Solicit-Successor-1*, utilizzata per invitare le stazioni ad entrare nell'anello. Le stazioni invitate sono quelle i cui indirizzi sono compresi tra quello della stazione che possiede il token e quello della successiva attuale;
- *Solicit-Successor-2*, utilizzata per invitare le stazioni i cui indirizzi non sono compresi tra quello della stazione che possiede il token e quello della successiva attuale;
- *Who-Follows*, utilizzata per individuare il successore del successore di una stazione nell'anello logico;
- *Resolve-Contention*, usata per risolvere i contenziosi tra stazioni multiple;
- *Set-Successor*, sollecita un nodo a cambiare l'identificativo di quello successivo. Viene utilizzata per aggiungere o eliminare una stazione all'anello logico.

Il formato delle trame è simile al formato dello standard *Token ring*:
- *specifica del servizio a livello fisico;* definisce, in termini funzionali, il servizio fornito dal livello fisico al livello del MAC del token bus;
- *specifica dell'entità del livello fisico;* stabilisce le caratteristiche elettriche, meccaniche, e funzionali necessarie per trasmettere e ricevere segnali su di un mezzo particolare;
- *specifica del mezzo;* definisce le caratteristiche del mezzo di trasmissione, i suoi componenti, e le parti integranti necessarie.

L'anello si basa sul fatto che ciascuna stazione conosce dal punto di vista logico la stazione che la precede e quella che la segue

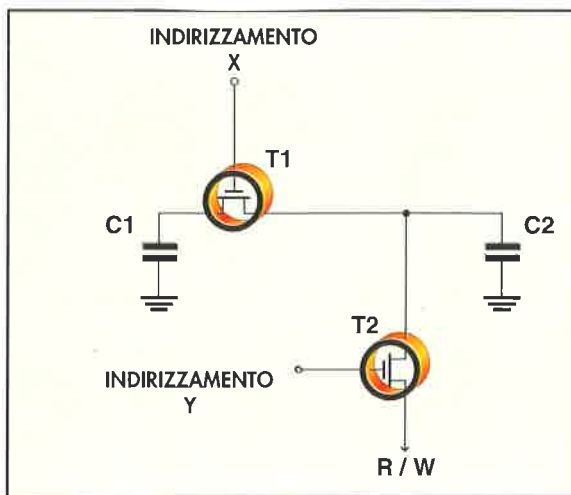
Le memorie RAM in tecnologia MOS

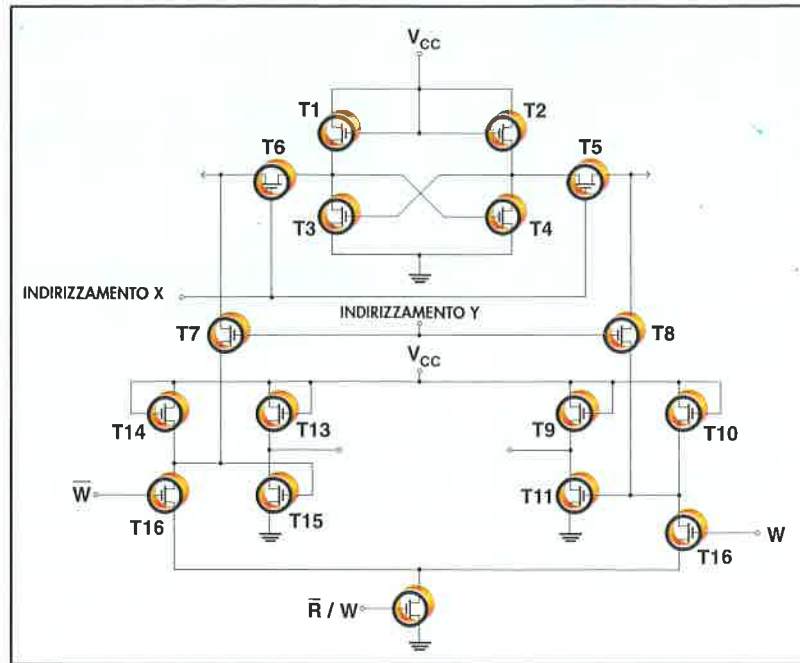
Le memorie RAM, come visto nel capitolo precedente, possono essere classificate in diversi modi. Di seguito verranno esaminati i dispositivi suddivisi secondo uno dei parametri più significativi e importanti: la tecnologia di costruzione.

Prima di addentrarsi nell'analisi di ciò che sono realmente le memorie in tecnologia MOS, è opportuno cercare di comprendere le nozioni fondamentali relative alle RAM più semplici, che sfruttano dei transistor a multiemettitore come base per la loro costruzione e progetto, chiamate *RAM bipolari*.

Come circuito di partenza viene considerata una cella base composta da due transistor multiemettitore e due resistenze, la cui configurazione era già stata indicata nella corrispondente figura riportata all'inizio del capitolo precedente. Inizialmente si suppone che la cella stia memorizzando un 1 logico definito dalla conduzione di T1 e dall'interdizione di T2.

Cella di memoria RAM statica in tecnologia MOS

Memoria statica RAM a 16 righe per 16 colonne e cella di memoria da 1 bit in tecnologia bipolare

Quando si desidera eseguire una lettura della cella, bisogna indirizzarla tramite la linea di selezione, che in condizione di riposo ha generalmente un valore di 0,3 V mentre assume il valore di circa 3 V quando gli arriva l'impulso di indirizzamento; questo impulso causa il trasferimento della corrente dell'emettitore di T1 collegato alla linea di selezione all'altro emettitore collegato alla linea del dato, dove viene rilevata tramite un amplificatore di lettura e interpretata come presenza di un 1 logico.

La cella di memoria più semplice, nella famiglia delle memorie dinamiche, è costituita da un transistor e da un condensatore che agisce come magazzino di memoria

Per leggere uno 0 logico, la corrente deve essere rilevata sulla linea dei dati negata. L'impulso che arriva sulla linea di selezione deve essere sufficientemente ampio da permettere il trasferimento della corrente da un emettitore all'altro e la successiva rilevazione da parte dell'amplificatore di lettura. Quando si desidera scrivere un dato in una cella bisogna indirizzarla con lo stesso metodo visto in precedenza, ma in questo caso è necessario inviare il dato desiderato sulla linea del dato corrispondente, in modo che venga memorizzato nella cella selezionata. Si supponga di voler scrivere uno 0 nella cella definita in precedenza, nella quale era già memorizzato un 1 logico. Per poterla eseguire è necessario inviare l'impulso di indirizzamento sulla linea di selezione e contemporaneamente il segnale relativo al dato sulla linea dei dati collegata all'emettitore di T2. Ciò provoca la commutazione dello stato di T2, che si satura portando in interdizione T1 grazie alla retroazione positiva generata dal primo transistor. Quando l'impulso sulla linea di selezione viene a mancare, rimane perciò memorizzato il livello logico 0 come conseguenza dello stato di conduzione di T2 e di interdizione di T1.
Se questa cella di base viene inserita all'interno di una vera memoria RAM il suo comportamento è identico, e i diversi segnali necessari per il suo

pilotaggio vengono generati dai decodificatori e dai circuiti di controllo presenti nell'integrato. Considerando lo schema a blocchi di una RAM statica da 16 righe per 16 colonne riportata nella figura corrispondente, è possibile studiare il comportamento di tutti gli elementi che la compongono.
Tramite gli ingressi di indirizzamento A0, A1, A2 e A3 viene selezionata una delle 16 righe che compongono la memoria, mentre gli ingressi A4, A5, A6 e A7 servono per selezionare uno dei 16 amplificatori invertenti di lettura/scrittura collegati a ciascuna delle 16 colonne.
Quando si desidera eseguire una operazione di lettura bisogna innanzi tutto selezionare tramite le linee A0, A1, A2, A3 la riga corrispondente alla cella prescelta, e tramite le linee A4, A5, A6, A7 l'amplificatore di colonna relativo alla suddetta cella. Se questo amplificatore rileva corrente sulla linea del dato, genera in uscita uno 0 logico, mentre gli amplificatori non selezionati non rilevano nulla anche se su qualche altra linea dati è presente corrente.
Per eseguire delle operazioni di scrittura invece, bisogna abilitare questa condizione tramite il terminale corrispondente W. Ciò provoca la conversione del dato in ingresso in due livelli di tensione opposti applicati alle due linee dei dati. Questa differenza di tensione viene rilevata dall'amplificatore di scrittura, che abilita la colonna corrispondente; la riga relativa viene sempre selezionata tramite le linee A0-A3 già definite in precedenza. L'indirizzamento incrociato riga-colonna individua la cella prescelta per la scrittura, nella quale avviene il processo di scrittura e memorizzazione del dato descritto precedentemente per la singola cella.

Alla cella di memoria a 6 MOS vengono aggiunti degli elementi circuitali di controllo che consentono la selezione delle operazioni di lettura e di scrittura

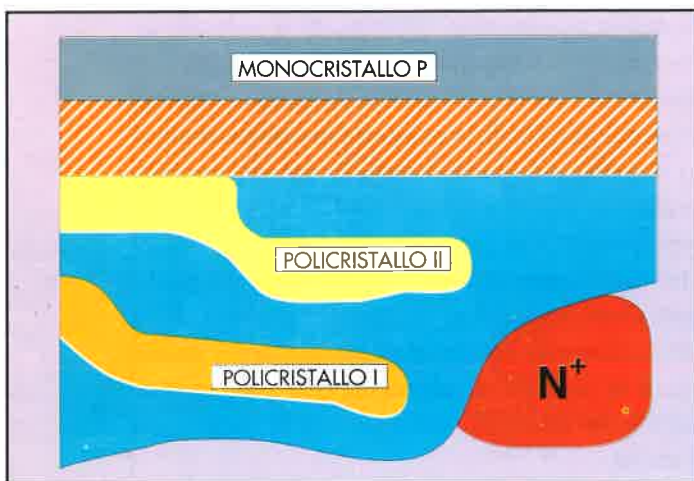
Cella dinamica a quattro MOSFET

Le memorie statiche in tecnologia MOS

La tecnologia MOS ha permesso la costruzione dei dispositivi in alta scala di integrazione (LSI) appartenenti alla famiglia logica MOS. Questo fatto ha reso possibile la realizzazione di memorie di capacità molto elevata, utilizzate soprattutto in quelle applicazioni nelle quali la velocità di lavoro non è il requisito principale richiesto.
Esistono diversi modelli di celle di memoria statiche in tecnologia MOS. In questo caso viene esaminata la cella più tipica, costituita da un bistabile realizzato con due invertitori MOS ad accoppiamento incrociato.
I transistori che vengono utilizzati in questa configurazione sono ad arricchimento a canale P. Il loro substrato è collegato alla tensione più positiva, e le tensioni di alimentazione sono quelle tipiche dei MOSFET, -12 V per il drain e 0 V per il source.

Circuito completo di una memoria RAM realizzato in tecnologia MOS dinamica

Il suo funzionamento è il seguente: si suppone inizialmente che nella cella sia memorizzato un livello logico 1, situazione definita dalla conduzione del transistor T3 e dall'interdizione del transistor T4. In condizione di riposo la cella risulta completamente isolata dagli altri circuiti esterni, poiché le porte di trasferimento T5 e T6 risultano aperte per effetto della polarizzazione applicata ai loro terminali tramite la linea di indirizzamento.

Sezione di una cella RAM dinamica realizzata con un transistor MOS e un condensatore

Per leggere il contenuto della cella bisogna indirizzarla tramite un impulso sulla linea di indirizzamento. In questa condizione T5 e T6 conducono e la tensione presente sui terminali dei transistor T3 e T4 viene trasferita alla linea dei dati. Se è presente un circuito in grado di rilevare la tensione presente sulle linee dei dati è possibile determinare se una cella contiene un 1 o uno 0. Questo circuito lo si può osservare nella figura corrispondente, nella quale T7 e T8 rilevano l'informazione letta che viene poi elaborata tramite dei circuiti dedicati.
Per scrivere in questa cella bisogna indirizzarla con un impulso negativo sulla linea di indirizzamento. Questo impulso apre un percorso per la corrente attraverso T5 e T6. Se si desidera scrivere un 1 è necessario mantenere la linea dei dati a 0 V e diminuire la tensione sulla linea dei dati negata che, attraverso T6, porta in conduzione T3; ciò provoca l'interdizione di T4. Quando la linea degli indirizzi torna al valore iniziale, questo 1 rimane memorizzato nella cella.

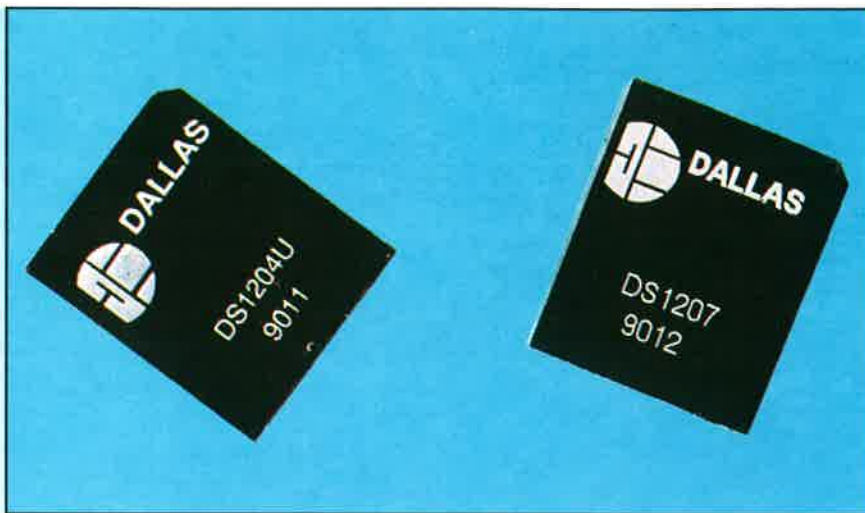
Memorie dinamiche con MOSFET

Gli elementi di memoria sono costituiti da condensatori, il cui processo di carica e scarica può essere controllato tramite dei flip-flop. É possibile però progettare una memoria dinamica utilizzando semplicemente un condensatore e un transistor che agisce come porta di trasmissione per la carica o la scarica del condensatore. L'informazione memorizzata è rappresentata proprio dalla carica del condensatore, che richiede però un segnale di rigenerazione (segnale di *refresh*) per rimanere stabile e invariata. Questo segnale viene generato ad intervalli regolari dagli elementi circuitali ai quali la memoria viene collegata. Questo tipo di cella, la più semplice tra quelle viste per la realizzazione di una RAM, viene utilizzata per la costruzione di dispositivi ad alta capacità di memorizzazione. Le operazioni di lettura e scrittura vengono abilitate dal transistor N-MOS, che collega direttamente il condensatore alla linea del dato. Poiché la carica di questo condensatore ha un valore estremamente basso, l'operazione di lettura provoca l'annullamento della stessa, per cui è necessario effettuare un ciclo di refresh immediatamente successivo per ripristinare l'informazione.

CHIAVE DI PROTEZIONE PER I PROGRAMMI

Sono molte le occasioni in cui è necessario proteggere un programma, non solamente dall'esecuzione di copie non ammesse, ma soprattutto per evitare intromissioni di utenti non autorizzati che potrebbero danneggiare le informazioni memorizzate.

La chiave elettronica proposta è una protezione sia hardware che software per programmi che possono essere eseguiti solo da utenti autorizzati; infatti, il dispositivo contiene una chiave che è strettamente legata al programma, e che deve coincidere con i parametri definiti in quest'ultimo in ogni istante. Inoltre, con la stessa chiave è possibile proteggere più di un programma, poiché è sufficiente che abbiano tutti lo stesso codice di accesso.

Esiste la possibilità di proteggere più programmi con la stessa chiave

Con questi chip si possono proteggere i programmi in due diversi modi

Questa realizzazione non permette solamente di proteggere i programmi per mezzo di un codice di accesso inserito da tastiera o direttamente compilato con il programma, ma offre anche la possibilità di una protezione temporizzata contro l'utilizzo prolungato del programma in questione, grazie alla presenza di un temporizzatore programmabile che consente di impostare il periodo di utilizzo del software protetto per un tempo non superiore a 512 giorni; ovviamente, come nel caso della *password* precedente, questo tempo può essere programmato preventivamente.

L'hardware di questo dispositivo è accompagnato dall'opportuno software necessario per la programmazione dei circuiti della chiave elettronica e dalle routine, scritte con linguaggi di programmazione diversi, che servono al lettore per definire la chiave di protezione dei suoi programmi.

Al circuito proposto per questo montaggio è associato l'opportuno software

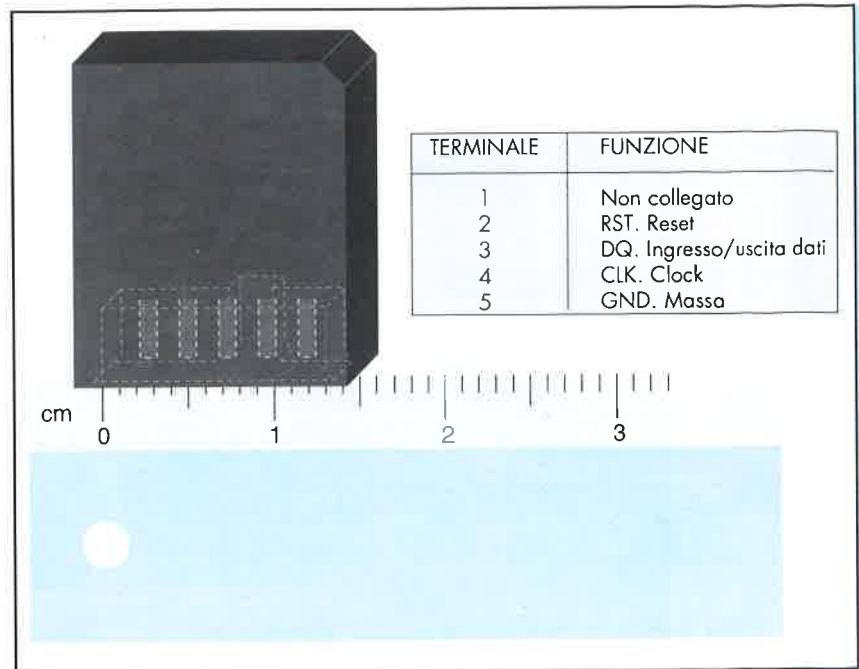
Per l'installazione di questa chiave non è necessario aprire il calcolatore o eseguire qualche particolare procedura di installazione; è infatti sufficiente collegarla al connettore femmina di una delle porte parallele di cui è dotato il proprio elaboratore. Se questa coincide con la porta a cui è collegata la stampante, bisogna collegare il dispositivo alla porta e il cavo della stampante al connettore di uscita dello stesso. Entrambi i dispositivi funzioneranno autonomamente senza provocare interferenze reciproche. Non è necessario programmare la porta in cui è inserita la chiave, poiché il programma ricerca automaticamente la sua posizione eseguendo una scansione su tutte le porte di cui è dotato il computer.

LA CHIAVE DS1204

In una delle illustrazioni riportate in queste pagine è possibile osservare i due chip di protezione che, come si può verificare, sono uguali: l'unica differenza è costituita dall'etichetta di identificazione. Il circuito DS1204 fornisce una protezione basata sulla lettura/scrittura di una memoria a basso assorbimento (CMOS) che mantiene i dati per un periodo superiore ai dieci anni. I dati che vengono immagazzinati in questa memoria sono quelli che il programma protetto deve confrontare per sape-

Piedinatura della chiave DS1204

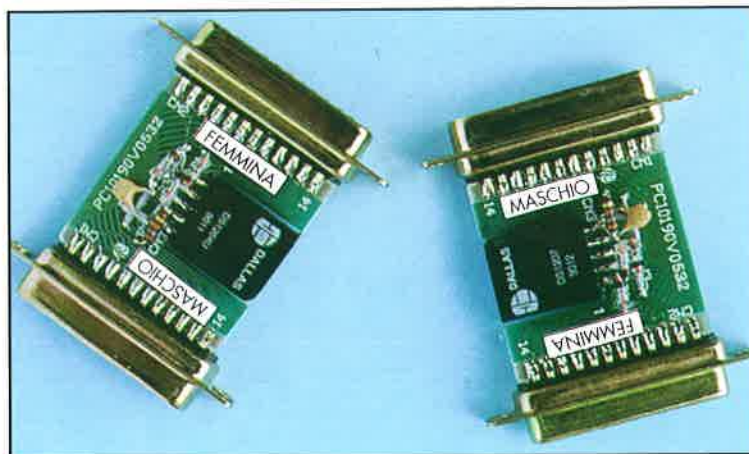
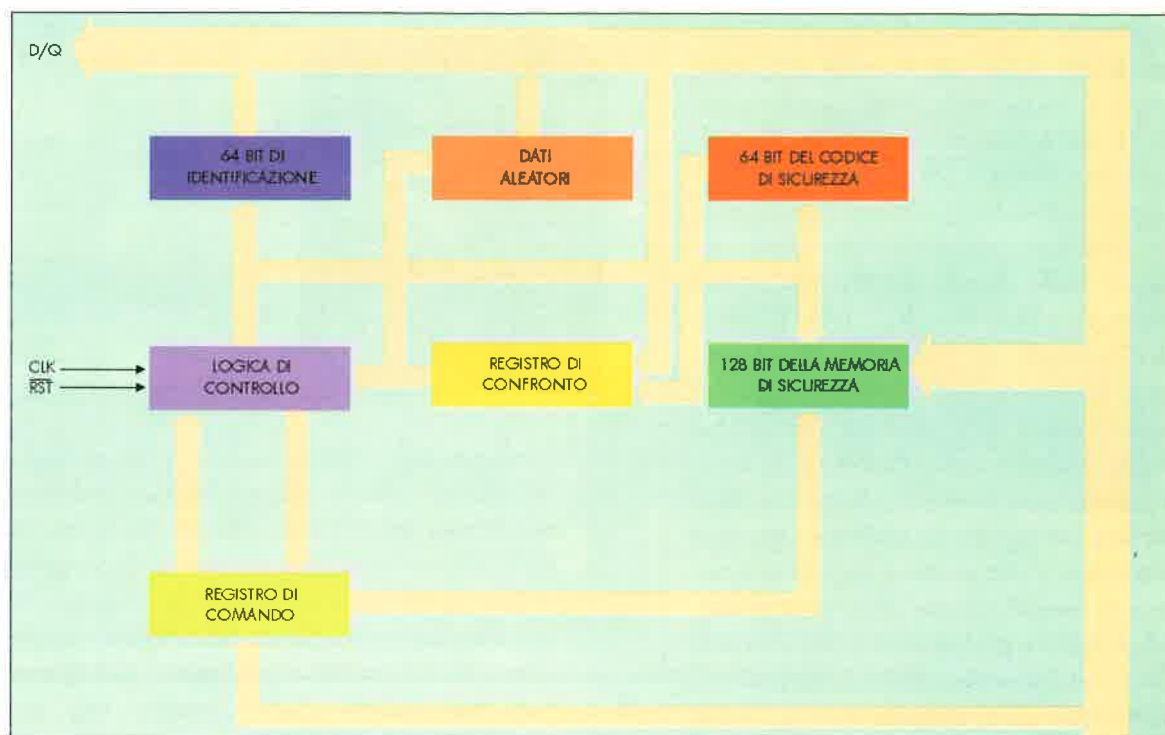
TERMINALE	FUNZIONE
1	Vcc + 5V
2	RST. Reset
3	DQ. Ingresso/uscita dati
4	CLK. Clock
5	GND. Massa

re in che modo procedere. Questi dati sono formati da: 64 bit per il codice di identificazione, 64 bit per la chiave o *password*, e altri 128 bit per alcuni dati di sicurezza. La chiave DS1204 consente due modalità operative diverse: quella *normale* e quella *programmata*. La prima viene inizializzata inviando alla chiave un Reset (RST\), che abilita il trasferimento di 24 bit al Registro dei Comandi; ogni bit viene trasferito durante il fronte di salita dei livelli logici del segnale di clock CLK. Poiché questi bit definiscono il modello di comunicazione, la prima operazione richiesta è la loro verifica per sapere se abilitare l'accesso alla lettura e alla scrittura oppure se ignorare la comunicazione. Al termine di queste procedure protocollari inizia la lettura dei 64 bit di identificazione; il loro prelievo in memoria viene eseguito durante i fronti di discesa del segnale di clock. L'operazione successiva prevede la scrittura nel Registro Comparatore della chiave di accesso (password); se questa è corretta viene eseguita la lettura dei 128 bit relativi ai dati di sicurezza. In caso contrario, se la parola chiave non risulta corretta, viene eseguita una lettura di 128 bit con valori aleatori in modo da confondere chiunque tenti di inserirsi nei dati di sicurezza senza disporre della parola chiave necessaria. Questa sequenza operativa è rappresentata nel diagramma di flusso e negli schemi a blocchi relativi alle procedure di avviamento in modalità normale. L'altra modalità operativa ammessa dalla chiave DS1204 prevede la programmazione di tutti i codici: chiave di accesso, identificazione e dati di sicurezza. Nello schema a blocchi relativo alla *modalità programmata* si possono osservare gli elementi principali che intervengono in questo processo operativo. Il funzionamento inizia come nel caso precedente con un Reset e con il caricamento dei 24 bit nel Registro dei Comandi. Questi 24 bit vengono verificati per sapere se l'operazione che si desidera effettuare è corretta; in caso affermativo bisogna indicare al Registro se si vuole eseguire una operazione di programmazione o riprogrammazione, anche se è la stessa cosa. Successivamente viene richiesto l'inserimento dei 64 bit di identificazione e dei 64 bit dei dati di sicurezza.

TERMINALE	FUNZIONE
1	Non collegato
2	RST. Reset
3	DQ. Ingresso/uscita dati
4	CLK. Clock
5	GND. Massa

Piedinatura della chiave DS1207

SEGNALI DI RESET E CLOCK

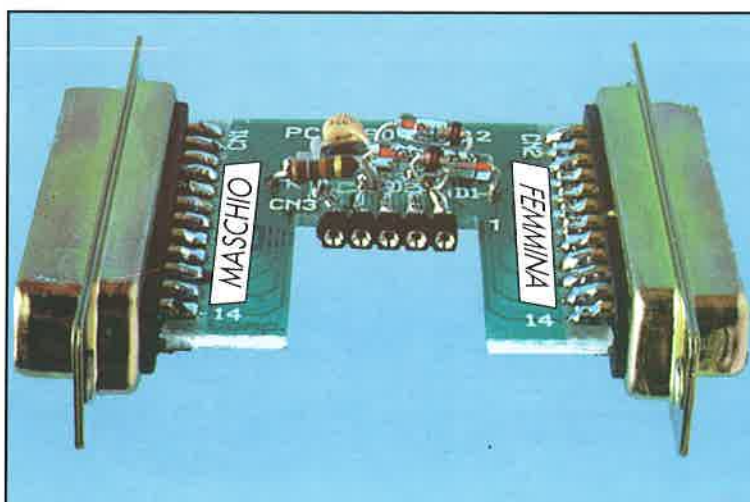
Il Reset del circuito si ottiene applicando un livello logico alto al terminale 2 (RST\). Questo segnale svolge tre diverse funzioni: porta ad ON l'accesso al Registro dei Comandi per la successiva sequenza dei Comandi, fornisce alimentazione al circuito durante i cicli positivi, e indica al circuito la fine del trasferimento dei dati. L'assorbimento stimato,

Aspetto finale delle chiavi di protezione installate nel circuito proposto

Il Reset del circuito si verifica quando al terminale 2 (RST\) arriva un livello logico alto

Modalità operativa normale della chiave DS1204

con una tensione di alimentazione di 3 V, è di circa 2 mA; tuttavia, se la tensione Vcc sul terminale 1 è di 5 V RST\ non viene utilizzato come alimentazione, e la corrente massima è di circa 500 µA. Il segnale di clock è utilizzato per trasferire i dati da e verso il circuito. La sequenza di ingresso dei bit avviene in corrispondenza dei fronti di salita del segnale di clock, mentre i bit in uscita vengono prelevati sui fronti di discesa di questo stesso segnale. Il trasferimento dei bit termina quando il segnale RST\ passa a livello logico 0, istante in cui il terminale DQ passa allo stato di alta impedenza. Per evitare problemi con l'ultimo bit trasferito, è opportuno che la commutazione a livello 0 del segnale RST\ avvenga quando il segnale di clock si trova già al livello logico 1.

La chiave DS1207

Quest'altra chiave di protezione, oltre a memorizzare i 64 bit del codice di identificazione e i 64 bit relativi alla chiave di accesso (password), è dotata di 384 bit di lettura/scrittura. I bit del codice di identificazione e quelli della chiave di accesso vengono inseriti in modalità programmata. Successivamente bisogna immettere il numero prescelto dei giorni di utilizzo del dispositivo, e dopo aver verificato che la chiave è correttamente programmata fissarlo in memoria. Dopo aver eseguito quest'ultima operazione non è più possibile modificare il numero impostato. Per attivare il real time clock interno è necessa-

Dettaglio del connettore nel quale si deve inserire la chiave DS1204 o DS1207

Il segnale di clock viene utilizzato per trasferire i dati da e verso il circuito

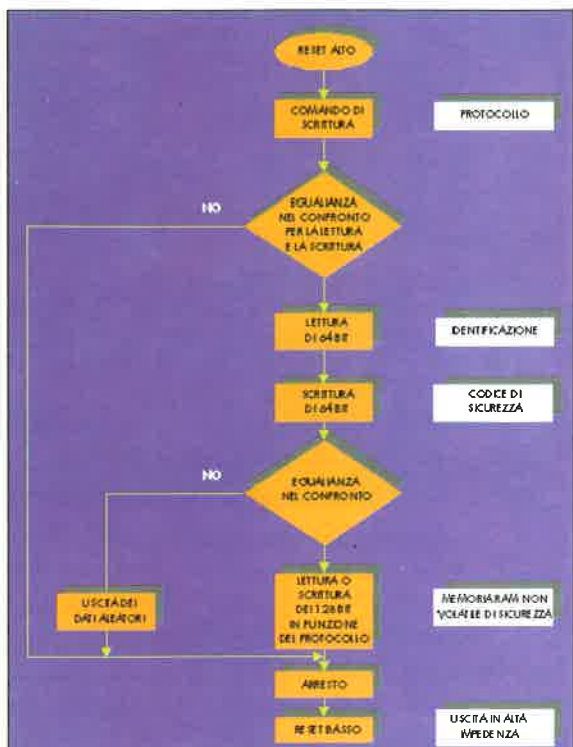
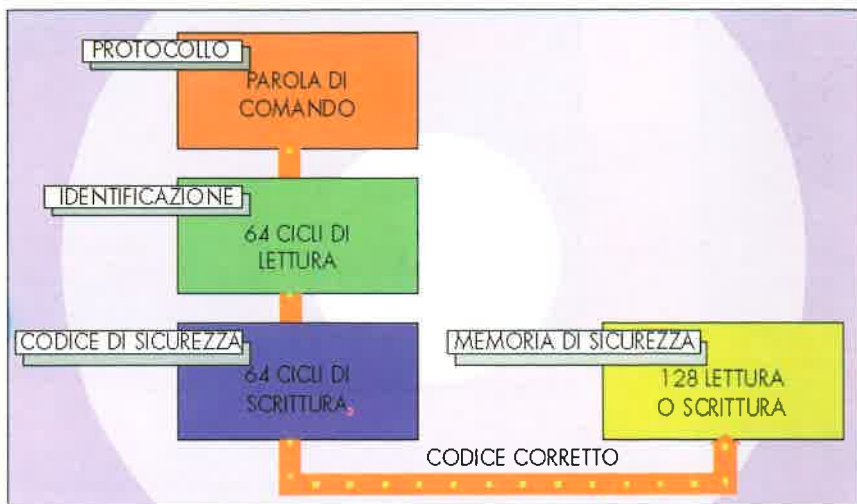
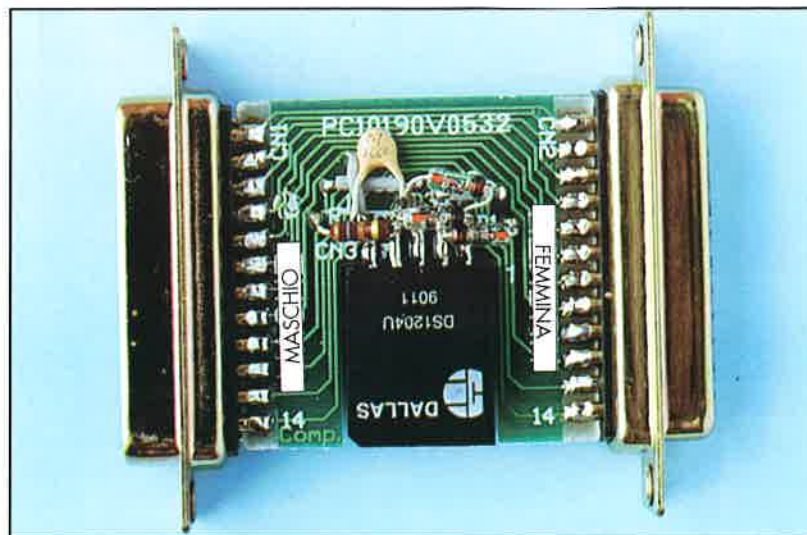
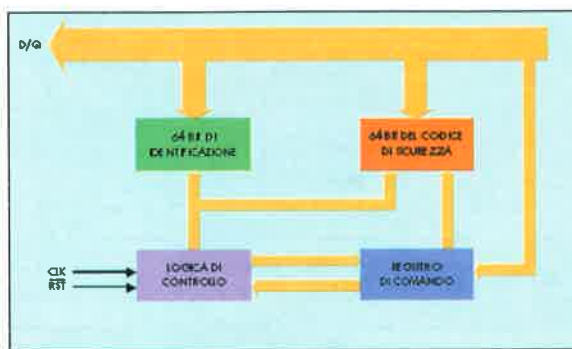



Diagramma di flusso di una operazione in modalità normale della chiave DS1204

Sequenza di una operazione in modalità normale

rio inviare alla chiave un comando di avviamento; questo clock comincia ad operare sottraendo secondo per secondo al numero dei giorni programmati.

Come la chiave DS1204, anche la DS1207 consente due modalità di funzionamento, quella normale e quella programmata. La prima si inizializza con il caricamento dei 24 bit nel Registro dei Comandi quando il terminale RST\ commuta al livello logico 1. Il caricamento dei diversi bit avviene durante le transizioni da basso ad alto del segnale di ingresso CLK. Il codice trasferito al Registro dei Comandi definisce il protocollo di accesso, che identifica se l'operazione desiderata è di lettura, di scrittura, ecc. Se il codice caricato nel registro non è quello corretto le informazioni successive vengono ignorate, mentre se risulta corretto determina quale operazione deve essere eseguita. Successivamente viene eseguita la lettura dei 64 bit del codice di identificazione, e di seguito viene richiesta l'immissione dei 64 bit della chiave di accesso (password). Questi 64 bit vengono confrontati internamente, e se sono corretti viene abilitata la lettura dei dati di sicurezza, mentre se non risultano corretti vengono generati 384 bit aleatori che forniscono come risultato alcuni dati fittizi che servono per confondere l'utente non autorizzato.

Anche la modalità programmata viene inizializzata con il caricamento dei 24 bit nel Registro dei Comandi, e se questi risultano corretti viene abilitata la programmazione dei 64 bit del codice di identificazione e dei 64 bit della chiave di accesso. Questi 24 bit del Registro di Accesso aprono la strada a sei nuove possibilità, che sono: la

Il chip viene installato nella scontornatura già predisposta sul circuito stampato

La chiave DS1207 ha due modalità operative: quella normale e quella programmata

Schema a blocchi della modalità programmata

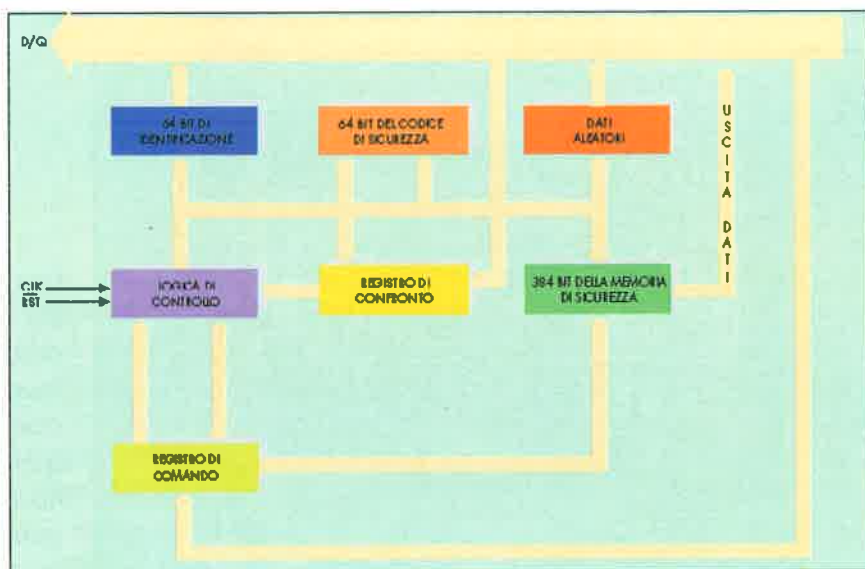
Sequenza di una operazione di programmazione

lettura dei 20 bit del contatore corrispondente alla frazione decimale del numero dei giorni che mancano per arrivare a zero, la lettura dei 9 bit del contatore relativo al numero dei giorni, la programmazione del contatore del numero dei giorni (9 bit), la negazione dell'accesso al contatore dei giorni per evitare una sua riprogrammazione, l'attivazione di un oscillatore che genera dei segnali di clock con una frequenza molto alta che serve per ridurre il numero dei giorni, e l'arresto dell'oscillatore.

In pratica, la programmazione del numero dei giorni che devono essere conteggiati si può riassumere nei seguenti passi:

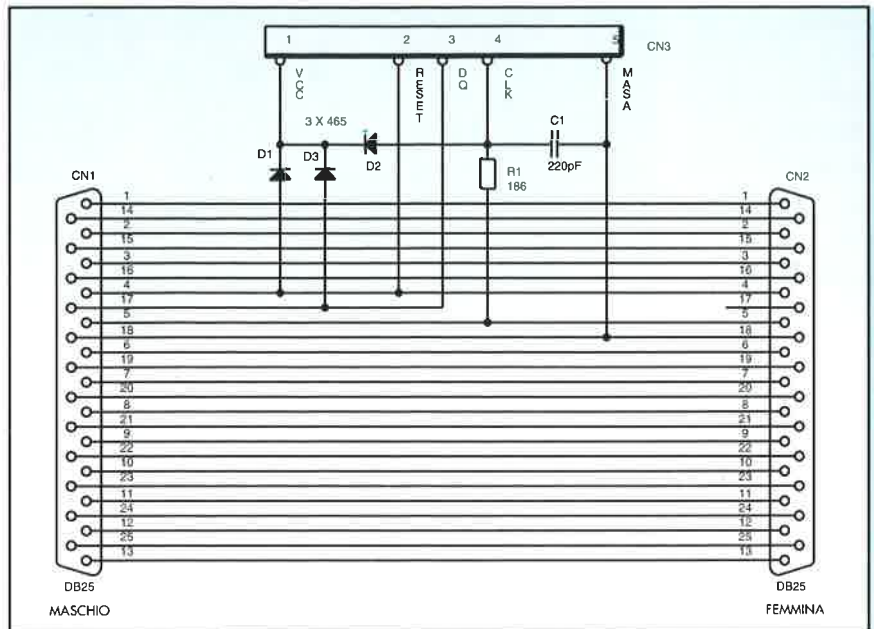
- **1°:** *programmazione del codice di identificazione*
  * programmazione della chiave di accesso,
  * scrittura del dato di sicurezza;
- **2°:** *programmazione del numero dei giorni che mancano per arrivare a zero*
  * verifica del numero dei giorni - se questo è corretto si passa al punto 7;
- **3°:** *generazione di un comando per l'avvio del clock di prova*
- **4°:** *esecuzione di un qualsiasi altro comando*
- **5°:** *lettura del numero dei giorni rimanenti e verifica del funzionamento del clock*
- **6°:** *arresto del clock*
- **7°:** *blocco del contatore dei giorni programmati - dopo questa operazione non è più possibile riprogrammare questo valore*
- **8°:** *generazione del comando per l'avvio del clock reale.*

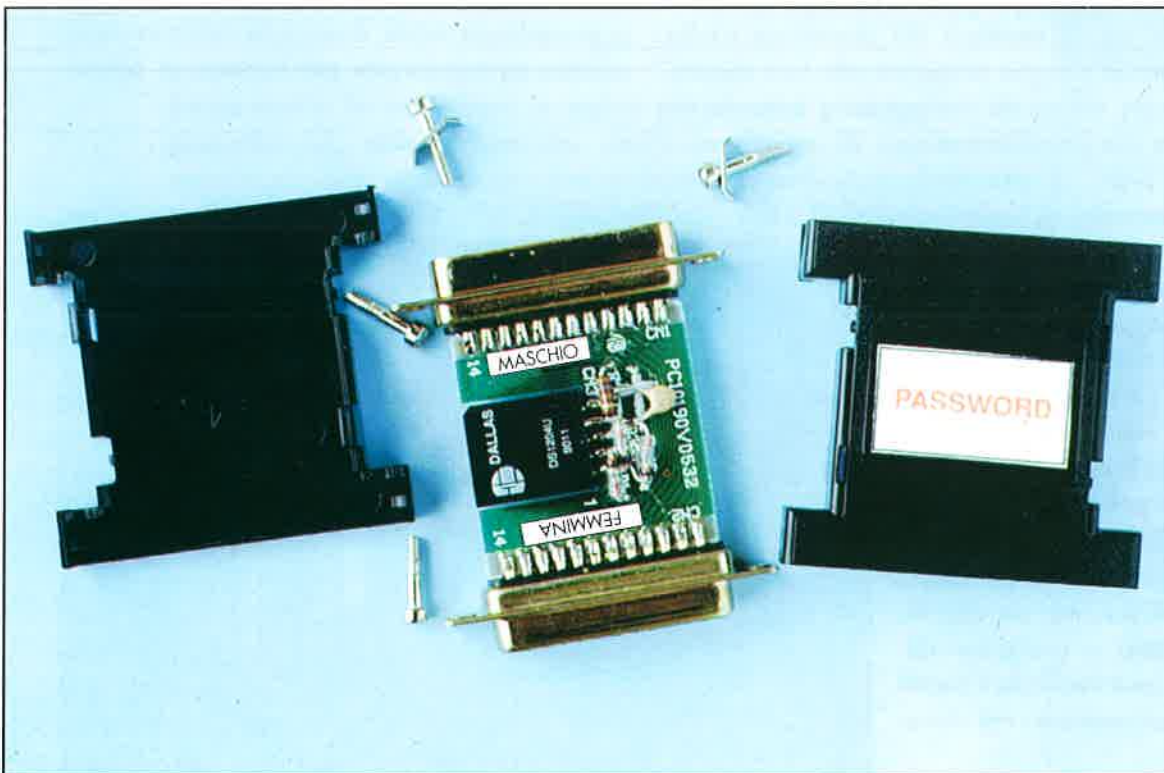
Segnali di RESET e CLOCK

Trasferimento dei dati nella modalità normale con il DS1207

Il trasferimento di tutti i dati da e verso la chiave avviene quando il segnale RST\ si trova al livello logico 1. Il segnale svolge tre diverse funzioni. Consente gli accessi al Registro dei Comandi, alimenta il circuito durante gli impulsi positivi, e invia uno 0 logico per indicare che il trasferimento dei dati si è concluso. Un valore tipico dell'assorbimento è di 2 mA per una tensione di 5V. Del segnale di clock si utilizzano entrambi i fronti: quello di salita per introdurre i dati nella chiave tramite la scrittura dei relativi bit, e quelli di discesa per leggere i dati corrispondenti ai bit della chiave. La sequenza di lettura e di scrittura si conclude quando il segnale RST\ passa a livello logico 0, istante nel

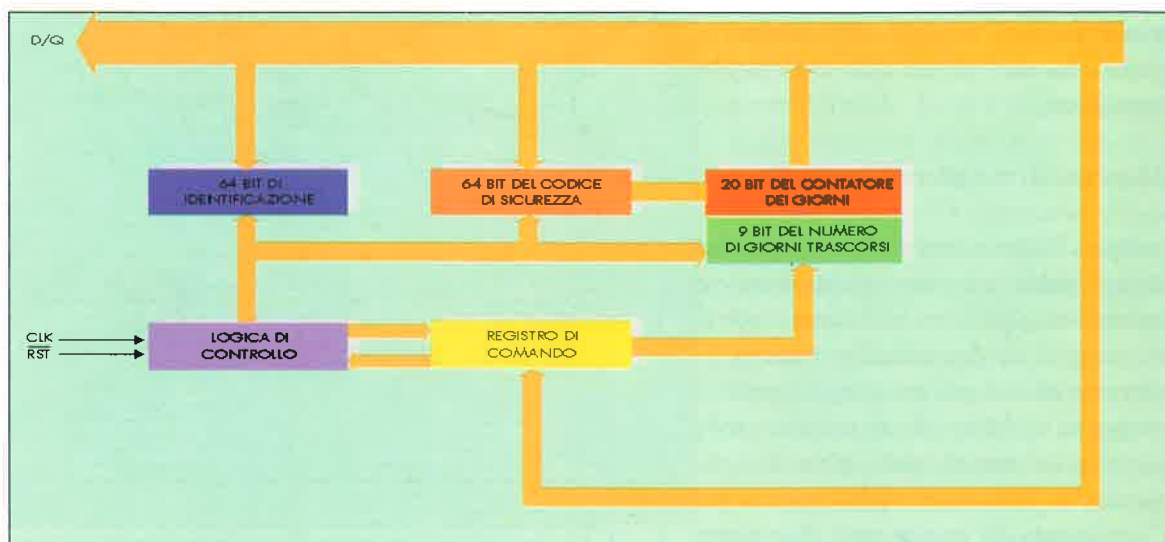
quale anche il terminale DQ (uscita/ingresso dei dati) passa allo stato di alta impedenza.

MONTAGGIO DEL CIRCUITO

Le figure illustrano le dimensioni del circuito e i pochi componenti installati, ma questo non significa che l'operazione di montaggio sia più semplice rispetto ad altri circuiti con più componenti poiché, anche se si tratta di un circuito molto piccolo, la densità delle piste è molto elevata e non resta molto spazio per l'inserimento dei componenti. Per questo motivo si deve seguire un ordine molto preciso nell'inserimento degli stessi, poiché in caso contrario potrebbe risultare molto difficile montare gli ultimi. Ovviamente è possibile cablare quelli più difficili sul lato saldature, ma questa operazione viene sconsigliata sia per ragioni tecniche che estetiche. É opportuno rammentare che il circuito ha i fori non metallizzati, per cui i reofori dei componenti devono essere saldati su entrambe le facce dello stampato. I primi elementi che devono essere montati sono i tre ponticelli presenti sul circuito: J1, J2 e J3. J1 e J2 si incrociano a 90°, per cui bisogna utilizzare del filo isolato oppure del filo smaltato stagnato agli estremi. Successivamente bisogna montare e saldare il condensatore, piegandolo in modo che risulti parallelo allo stampato e appog-

Schema del circuito della chiave elettronica. Sul connettore CN3 viene installato il chip che rappresenta la pedina chiave del circuito

La chiave di protezione è dotata da un lato di un connettore a 25 terminali maschio, e dall'altro di un connettore femmina per il collegamento della stampante

I primi componenti che si devono montare sono i tre ponticelli presenti sul circuito J1, J2 e J3

Elenco componenti

- Circuito DS1204 o DS1207con la versione temporizzata
- D1, D2, D3 = AA119
- R1 = 180 Ω
- C1 = 220 pF
- 1 connettore DB-25 maschio
- 1 connettore DB-25 femmina
- 5 terminali femmina torniti
- 1 contenitore plastico per connettori DB-25
- 1 circuito stampato PC10190V0532

Trasferimento dei dati nella modalità programmata

giato allo stesso. Di seguito si devono inserire e saldare la resistenza e i diodi, ricordando che i tre catodi sono collegati nello stesso punto anche se con tre isole diverse. A questo punto si devono montare i cinque terminali torniti femmina, saldandoli in modo che risultino paralleli allo stampato e che non facciano sporgere dal profilo dello stesso la chiave che deve essere collegata successivamente. Infine non resta che saldare i connettori, per i quali si dovrà prestare particolare attenzione in modo da non invertire le posizioni del maschio e della femmina. Se l'incastro dello stampato tra le due file di terminali del connettore risulta difficoltoso bisogna procedere alla loro separazione per mezzo di un cacciavite, in modo da evitare una possibile rottura delle piste causata dallo strisciamento dei terminali sulle stesse. A questo punto il montaggio è terminato, e non restano che alcuni brevi commenti sulle operazioni eseguite. Le dimensioni del circuito stampato sono state definite in modo da adattarle perfettamente ai contenitori reperibili nei negozi specializzati del settore, per conferire all'insieme un aspetto compatto e professionale. Dopo aver verificato il corretto funzionamento del circuito, è possibile saldare il chip della chiave direttamente ai terminali torniti per evitare un suo facile smontaggio. Per eseguire questa operazione bisogna dissaldare i cinque terminali femmina saldati in precedenza, eliminare con una forbice l'isolamento plastico che li avvolge, stagnare i terminali nudi sia esternamente che internamente, e riscaldarne uno in modo tale che quando avviene lo scioglimento dello stagno si possa inserire un terminale del chip; per gli altri terminali si deve procedere allo stesso modo, saldando successivamente tutto l'insieme allo stampato come descritto in precedenza. Infine, è possibile utilizzare della plastica termoindurente per formare un blocco unico.

Le dimensioni del circuito sono state definite in modo da poterlo racchiudere in un copriconnettore

Circuito stampato al quale bisogna applicare la chiave DS1204 o DS1207